

# COMPORTAMIENTO DE Ca, Mg y S EN UN SISTEMA DE CULTIVO SIN SUELO PARA CLAVEL

Nohora Astrid Vélez-Carvajal; Sandra Esperanza Melo-Martínez;  
Víctor Julio Flórez-Roncancio\*

Universidad Nacional de Colombia, Sede Bogotá, Facultad de Ciencias Agrarias, Departamento de Agronomía.  
Carrera 30 Núm. 45-03 Edificio 500, Bogotá, Distrito Capital, COLOMBIA. C.P. 14490.  
Correo-e: vjflorezr@unal.edu.co (\*Autor para correspondencia).

## RESUMEN

En los cultivos hidropónicos de la sabana de Bogotá se han encontrado cantidades excedentarias de iones en los lixiviados. El objetivo del estudio fue determinar el contenido de Ca, Mg y S en el sustrato, en el lixiviado y en el tejido de la planta entera de clavel estándar cv. Delphi, con tres porcentajes de recirculación del lixiviado y en diferentes etapas de desarrollo fenológico. Se utilizó un diseño experimental de bloques completos al azar, con nueve tratamientos y tres repeticiones, en parcelas divididas. La concentración de calcio en el lixiviado en función de la recirculación fue significativamente mayor sin recircular los lixiviados, mientras que, en función de los sustratos, tendió a ser mayor en el sustrato con menor porcentaje de cascarilla de arroz quemada (CAQ). Para magnesio, la concentración en el lixiviado aumentó con el avance del cultivo, de manera independiente de los factores, y fue significativamente mayor a medida que se incrementó el porcentaje de recirculación. Los contenidos de calcio y magnesio fueron significativamente menores en el sustrato con mayor contenido de CAQ. Para sulfato en los lixiviados se observó incremento en su concentración, con el aumento del porcentaje de recirculación, y las mayores concentraciones se presentan bajo el efecto del sustrato con mayor contenido de fibra de coco (FC). En los sistemas cerrados se deben ajustar las concentraciones de magnesio y azufre en las fórmulas de fertirriego. Además, cuando en el sustrato se mantengan porcentajes de FC, es necesario considerar la retención de los iones calcio y magnesio.

PALABRAS CLAVE ADICIONALES: Macroelementos secundarios, sustratos orgánicos, flor de corte.

## BEHAVIOR OF Ca, Mg and S IN A SOILLESS CULTURE SYSTEM FOR CARNATION

### ABSTRACT

In the hydroponic growing systems of the Bogota plateau, excess amounts of ions have been found in the leachate. The aim of the study was to determine the Ca, Mg and S contents in the substrate, leachate and tissue of the entire plant of the standard carnation cv. Delphi, with three leachate recirculation percentages and in different phenological development stages. A randomized complete block experimental design in split plots with nine treatments and three replications was used. The calcium concentration in the leachate on the basis of recirculation was significantly higher without recirculating the leachate, whereas, on the basis of the substrates, it tended to be higher in the substrate with a lower percentage of burned rice husk (BRH). For magnesium, the concentration in the leachate increased with crop development, regardless of the factors, and was significantly greater as the recirculation percentage increased. The calcium and magnesium contents were significantly lower in the substrate with higher BRH content. The sulfate concentration in the leachate increased as the recirculation percentage increased, and the highest concentrations occurred under the influence of the substrate with higher coconut fiber (CF) content. In closed systems the magnesium and sulfur concentrations in the fertigation formulas must be adjusted. Furthermore, when CF percentages are maintained in the substrate, it is necessary to consider the retention of the calcium and magnesium ions.

ADDITIONAL KEYWORDS: Secondary macroelements, organic substrates, cut flower.

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con Abad *et al.* (2005), el cultivo en sustrato es un cultivo sin suelo (CSS). Este sistema puede ser abierto a solución perdida o cerrada, con recirculación de la solución nutritiva, como lo describe Marfà (2000). Arreaza (2000) y Meneses (2004) resaltan que en un cultivo de clavel en sustratos es adecuado obtener lixiviados entre 5 y 20 % del volumen aplicado. Para las condiciones mediterráneas descritas por Lorenzo *et al.* (1993) es necesario utilizar una fracción de lavado entre 20 y 50 %.

Entre los materiales usados como sustratos en la sabana de Bogotá, se destacan la fibra de coco (FC) y la cascarilla de arroz quemada o tostada (CAQ). La FC está compuesta de lignina y celulosa, con una relación carbono:nitrógeno (C:N) de 80, pH entre 4 y 7, conductividad eléctrica (CE) entre 1 y 6 dS·m<sup>-1</sup>, contenido de materia orgánica de 92 %, capacidad de intercambio catiónico (CIC) entre 50 y 90 meq·100 g<sup>-1</sup>, porosidad total de 92 % y densidad aparente de 0.06 g·cm<sup>-3</sup> (Alarcón y Urrestarazu, 2006). Entre las principales propiedades de la CAQ se encuentran baja tasa de descomposición, baja densidad aparente (0.090 a 0.22 g·m<sup>-3</sup> de masa seca), buen drenaje, pH neutro, y CE y CIC bajas (Burés, 1997).

La técnica de CSS con recirculación permite la supresión total o parcial del vertimiento de lixiviados al medio, ahorro de fertilizantes y de agua y mitiga problemas medioambientales derivados de la lixiviación de fertilizantes (Zekki *et al.*, 1996; Anónimo, 2003; Marfà *et al.*, 2006). Parte de los problemas agronómicos en los CSS cerrados se derivan de la progresiva alteración de la composición originaria de la solución nutritiva, principalmente por la acumulación de ciertos iones como cloruro, sodio y sulfatos (Marfà *et al.*, 2006).

De acuerdo con Marfà *et al.* (2006), en CSS donde se utilizan sustratos de naturaleza orgánica, química y biológicamente activos, la solución nutritiva interacciona con el sustrato y no es sencilla la incorporación de la recirculación al sistema de cultivo. Así, la composición iónica de los lixiviados no es igual a la de la solución nutritiva originaria, ya que incorporan sólidos en suspensión, solutos exudados por las raíces y microorganismos que pueden ser patógenos. Por lo anterior, los lixiviados deben filtrarse, desinfectarse y restituirse al circuito cerrado, corrigiendo su composición.

El clavel absorbe calcio y potasio fácilmente. Cuando hay un suministro deficiente de potasio los iones K, Na, Ca y Mg compiten por absorción, y magnesio y calcio serían absorbidos por un sistema separado en el que compiten por igual (Holley y Baker, 1991).

El calcio se absorbe como Ca<sup>2+</sup>, su contenido en las plantas superiores está alrededor de 5 a 30 mg·g<sup>-1</sup> de masa seca (Azcón-Bieto y Talón, 2000; Mengel *et al.*, 2001). Es más móvil en el apoplasto que en el simplasto. El magnesio se absorbe

## INTRODUCTION

According to Abad *et al.* (2005), a culture in substrate is a soilless culture (SC). This system can be open to solution loss or closed, with recirculation of the nutrient solution, as described by Marfà (2000). Arreaza (2000) and Meneses (2004) emphasize that in a carnation culture in substrates it is suitable to obtain leachate of between 5 to 20 % of the volume applied. For Mediterranean conditions described by Lorenzo *et al.* (1993), it is necessary to use a wash fraction of between 20 and 50 %.

Among the materials used as substrates in the Bogota plateau, coconut fiber (CF) and burned or toasted rice husk (BRH) stand out. CF is composed of lignin and cellulose, with a carbon:nitrogen ratio (C:N) of 80, pH between 4-7, electrical conductivity (EC) between 1 and 6 dS·m<sup>-1</sup>, organic matter content of 92 %, cation exchange capacity (CEC) between 50 and 90 meq·100 g<sup>-1</sup>, total porosity of 92 % and bulk density of 0.06 g·cm<sup>-3</sup> (Alarcón and Urrestarazu, 2006). The main BRH properties include a low decomposition rate, low bulk density (0.090 to 0.22 g·m<sup>-3</sup> dry mass), good drainage, neutral pH and low EC and CEC (Burés, 1997).

The SC technique with recirculation allows for total or partial elimination of leachate dumping to the environment, saves on fertilizer and water use and mitigates environmental problems resulting from the leaching of fertilizers (Zekki *et al.*, 1996; Anónimo, 2003; Marfà *et al.*, 2006). Some of the agronomic problems in closed SC systems arise from the progressive alteration of the nutrient solution's original composition, mainly due to the accumulation of certain ions such as chloride, sodium and sulfate (Marfà *et al.* 2006).

According to Marfà *et al.* (2006), in SC systems where organic, chemical and biologically active substrates are used, the nutrient solution interacts with the substrate and so incorporating the recirculation into the culture system is not easy. The ionic composition of the leachate is not equal to that of the original nutrient solution, since it incorporates suspended solids, solutes exuded by the roots and microorganisms that can be pathogenic. Therefore, the leachate must be filtered, disinfected and returned to the closed circuit, in order to correct its composition.

Carnation absorbs calcium and potassium easily. When there is an inadequate supply of potassium, K, Na, Ca and Mg ions compete for absorption, and magnesium and calcium are absorbed by a separate system in which they compete equally (Holley and Baker, 1991).

Calcium is absorbed as Ca<sup>2+</sup>; its content in higher plants is about 5 to 30 mg·g<sup>-1</sup> dry mass (Azcón-Bieto and Talón, 2000; Mengel *et al.*, 2001). It is more mobile in the apoplast than in the symplast. Magnesium is absorbed as Mg<sup>2+</sup>, and it behaves as a mobile element in both the plant and the cell (Azcon-Bieto and Talón, 2000). Its absorption rate can

como  $Mg^{2+}$ , y se comporta como un elemento móvil tanto en la planta como en la célula (Azcon-Bieto y Talón, 2000). Su tasa de absorción puede ser presionada por otros cationes, como  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$  y  $Mn^{2+}$ , y por  $H^+$ , a pH bajo. El calcio es de los elementos más competitivos con el magnesio, por lo tanto, las altas concentraciones de calcio en el sustrato resultan en un aumento de este elemento en la hoja, con reducción de las concentraciones de magnesio (Bernstein y Hayward, 1958). El azufre es absorbido por la planta casi exclusivamente como  $SO_4^{2-}$ . En pequeñas cantidades puede ser absorbido como  $SO_3^{2-}$  y de la atmósfera como  $SO_2$  (Navarro y Navarro, 2003). Su contenido en las partes vegetativas de los cultivos varía entre 0.1 y 2 % de la masa seca (0.03 a 0.6  $mmol \cdot g^{-1}$  de masa seca).

El objetivo del estudio fue evaluar el comportamiento de las concentraciones de Ca, Mg y S en el continuo sustrato-planta-lixiviado en un sistema de cultivo en sustratos a base de CAQ y FC, para clavel estándar cv. Delphi con recirculación de lixiviados.

## MATERIALES Y MÉTODOS

El estudio se llevó a cabo en condiciones de invernadero, en el municipio de Mosquera, Cundinamarca, 4° 42' LN, 74° 12' LO, a 2,516 msnm, con promedios de 13.1 °C de temperatura, 80.75 % de humedad relativa, 1,100 mm de precipitación anual, 4.6 h de brillo solar diario y 1.7  $m \cdot s^{-1}$  de velocidad del viento (Anónimo, 2013).

Se acondicionó un invernadero tradicional en madera con cuatro secciones de 6.8 x 65 m cada una, con ventilación lateral y cenital pasiva. Se utilizó clavel estándar cv. Delphi sembrado en sustrato a una densidad de 24.3 plantas  $\cdot m^{-2}$  de invernadero, en camas suspendidas de 15 x 0.8 m, con riego a presión y goteros de 1.2 Lph cada 20 cm.

Se fertirrigó a través de un sistema computarizado y de un sistema automático de recirculación de drenajes (SARD). Este sistema está compuesto de tarjeta de adquisición de datos de National Instruments, computador, sensores de CE, pH,  $Ca^{+2}$  y  $Mg^{+2}$ , tanques de recolección y almacenamiento de soluciones, sensores de medición de volumen, válvulas solenoides y electrobombas, sensores de radiación global, radiación fotosintéticamente activa, humedad relativa y temperatura. El funcionamiento del SARD está descrito en Cuervo *et al.* (2011).

Para todos los tratamientos, la fórmula de fertilización en la fase vegetativa fue la siguiente ( $mg \cdot litro^{-1}$ ): N, 200; P, 30; K y Ca, 150; Mg, 60; S, 72; Zn, 0.5; Cu y B, 1; Fe, 4; y Mo, 0.1. Y en la fase productiva: N, K y Ca, 150; P, 30; Mg, 60; S, 120; Zn, 0.5; Cu y B, 1; Fe, 4; y Mo, 0.1.

## Variables medidas

Las muestras de tejido, del sustrato, del lixiviado y del agua del reservorio se sometieron a caracterización química de

be pressured by other cations, such as  $K^+$ ,  $NH_4^+$ ,  $Ca^{2+}$  and  $Mn^{2+}$ , and by  $H^+$ , at low pH. Calcium is one of the most competitive elements with magnesium; therefore, high calcium concentrations in the substrate result in an increase of this component in the leaf, and an accompanying reduction in magnesium concentrations (Bernstein and Hayward, 1958). Sulfur is absorbed by the plant almost exclusively as  $SO_4^{2-}$ . In small quantities it can be absorbed as  $SO_3^{2-}$  and from the atmosphere as  $SO_2$  (Navarro and Navarro, 2003). Its content in the vegetative parts of crops varies between 0.1 and 2 % of dry mass (0.03 to 0.6  $mmol \cdot g^{-1}$  dry mass).

The aim of this study was to evaluate the behavior of Ca, Mg and S concentrations in the substrate-plant-leachate continuum in a culture system in BRH- and CF-based substrates, for the standard carnation cv. Delphi with leachate recirculation.

## MATERIALS AND METHODS

The study was carried out under greenhouse conditions in the municipality of Mosquera, Cundinamarca, 4° 42' north latitude, 74° 12' west longitude, at 2,516 masl, with averages of 13.1 °C temperature, 80.75 % relative humidity, 1,100 mm annual rainfall, 4.6 h of daily sunshine and 1.7  $m \cdot s^{-1}$  wind speed (Anónimo, 2013).

A traditional wooden greenhouse was remodeled to create four sections measuring 6.8 x 65 m each, with passive side and zenithal ventilation. Standard carnation cv. Delphi was sown in the substrate at a density of 24.3 plants  $\cdot m^{-2}$  of greenhouse space, in suspended 15 x 0.8 m beds, with pressurized irrigation and 1.2 Lph drippers every 20 cm.

Fertigation was carried out by means of a computerized system and an automatic drainage recirculation system (ADRS). This system consists of: a National Instruments' data acquisition device, a computer, EC, pH,  $Ca^{+2}$  and  $Mg^{+2}$  sensors, solution collection and storage tanks, volume measuring sensors, solenoid valves and electric pumps, and global radiation, photosynthetically active radiation, relative humidity and temperature sensors. ADRS operation is described in Cuervo *et al.* (2011).

For all treatments, the fertilization formula in the vegetative phase was as follows: ( $mg \cdot liter^{-1}$ ): N, 200; P, 30; K and Ca, 150; Mg, 60; S, 72; Zn, 0.5; Cu and B, 1; Fe, 4; and Mo, 0.1. And in the productive phase: N, K and Ca, 150; P, 30; Mg, 60; S, 120; Zn, 0.5; Cu and B, 1; Fe, 4; and Mo, 0.1.

## Measured variables

Tissue, substrate, leachate and reservoir water samples were subjected to chemical characterization of calcium, magnesium and sulfur, in accordance with the protocol used by the Faculty of Agricultural Sciences' water and soil laboratory at the National University of Colombia (Carrillo *et al.*, 1994).

calcio, magnesio y azufre, conforme el protocolo del laboratorio de aguas y suelos de la Facultad de Ciencias Agrarias de la Universidad Nacional de Colombia (Carrillo *et al.*, 1994).

Las etapas de desarrollo fenológico definidas fueron previamente seleccionados al azar, expresadas en semanas después de la siembra (SDS), para los muestreos respectivos: primer pico (27 SDS), valle (34 SDS), transición vegetativo - reproductivo (44 SDS), desbotone (48 SDS) y segundo pico (54 SDS).

### Análisis de laboratorio

El muestreo del sustrato de los tratamientos se realizó tomando varias submuestras a través de la cama, con el fin de obtener muestras homogéneas y representativas de 1 kg para los respectivos análisis. Para el análisis de tejido se utilizaron todas las hojas sanas de cada planta en cada una de las etapas de desarrollo evaluadas. Se secaron en el horno durante 48 h a 105 °C, se molieron y se tomó una muestra de 5 g. Las muestras para el análisis de lixiviados fueron recogidas en los canales de las camas de cada uno de los tratamientos. En recipientes plásticos se tomó un litro de cada tratamiento. Las muestras para los respectivos análisis de sustrato, tejido y lixiviado se hicieron en cada una de las etapas de desarrollo fenológico, considerando tres repeticiones.

En el Cuadro 1 se presentan los análisis de agua del reservorio muestreado en cada etapa fenológica en el cultivo de clavel estándar cv. Delphi. Esta fue la composición del agua con la que se prepararon las soluciones fertilizantes utilizadas durante el periodo de desarrollo del cultivo estudiado. La caracterización química del sustrato, del tejido vegetal y

The defined phenological development stages were previously selected at random, expressed in weeks after planting (WAP), for the respective samples: first peak (27 WAP), valley (34 WAP), vegetative-reproductive transition (44 WAP), disbudding (48 WAP) and second peak (54 WAP).

### Laboratory analysis

Substrate sampling was conducted in each of the treatments by taking several subsamples through the bed, in order to obtain homogeneous and representative 1-kg samples for the respective analyses. For tissue analysis, all the healthy leaves of each plant in each of the evaluated development stages were used. They were dried in an oven for 48 h at 105 °C, then ground and finally a 5-g sample was taken. Samples for leachate analysis were collected in the channels of the beds used in each of the treatments. One liter of each treatment was taken and placed in plastic containers. Samples for the respective substrate, tissue and leachate analyses were taken in each of the phenological development stages, considering three replicates.

Table 1 shows the analyses of the reservoir water sampled in each phenological stage in the cultivation of standard carnation cv. Delphi. This was the composition of the water with which the fertilizer solutions used during the development period of the crop studied were prepared.

The chemical characterization of the substrate, plant tissue and leachate was performed in the laboratories of the National University of Colombia's main Bogota campus, according to the methodologies proposed by the National Coffee Research Center (Carrillo *et al.*, 1994).

CUADRO 1. Análisis del agua de reservorio en cada estadio fenológico en el cultivo de clavel estándar cv. Delphi.

TABLE 1. Analysis of reservoir water at each phenological stage in the cultivation of standard carnation cv. Delphi.

Variable	Unidades / Units	Estadio / Stage				
		1er. pico / 1st peak	Valle / Valley	Transición / Transition	Desbotone / Disbudding	2do. pico / 2nd peak
pH		6.44	6.66	6.62	6.59	6.39
OH	(mg·litro <sup>-1</sup> ) como CaCO <sub>3</sub>	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
CO <sub>3</sub>		0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
HCO <sub>3</sub>		93.70	108.78	79.18	83.26	60.03
Cl		60.60	57.44	264.69	3.89	24.77
SO <sub>4</sub>		74.60	107.14	92.03	9.44	7.46
PO <sub>4</sub>		12.70	0.00	3.32	0.34	0.08
NO <sub>3</sub>		203.00	0.31	0.59	0.54	0.79
Ca	(mg·litro <sup>-1</sup> )	60.70	24.22	18.90	18.25	13.71
K		42.20	0.21	0.22	1.73	0.09
Mg		23.90	9.12	12.92	4.46	4.33
Na		52.10	62.73	44.10	49.25	42.29
NH <sub>4</sub>		0.34	1.37	0.22	0.49	0.07
CE / EC	(dS·m <sup>-1</sup> )	0.90	0.49	0.36	0.34	0.24
RAS / SAR	(mmol <sub>c</sub> ·litro <sup>-1</sup> ) <sup>½</sup>	1.43	2.76	1.91	2.68	2.55

del lixiviado se realizó en los laboratorios de la Universidad Nacional de Colombia, sede Bogotá, según las metodologías propuestas por el Centro Nacional de Investigación de Café (Carrillo *et al.*, 1994).

### Diseño experimental

Se utilizó un diseño experimental en bloques completos al azar con parcelas divididas y nueve tratamientos con tres repeticiones (Melo *et al.*, 2007), donde el factor de las parcelas principales fueron los porcentajes de recirculación (0, 50 y 100 %) y el factor de las subparcelas los sustratos (100CAQ, 65CAQ y 35CAQ), conforme se muestra en el Cuadro 2. La unidad experimental fue la cama de 15 m, para un total de 27 camas.

### Experimental design

An experimental design in randomized complete blocks with split plots and nine treatments with three replications was used (Melo *et al.*, 2007). The factor of the main plots was the recirculation percentages (0, 50 and 100 %) and the factor of the subplots was the substrates (100BRH, 65BRH and 35BRH), as shown in Table 2. The experimental unit was the 15-m bed, for a total of 27 beds.

Data obtained from the experiment for each of the studied variables were analyzed by analysis of variance under the split-plot model with SAS version 9.2 statistical analysis software (Anónimo, 2009). The effect of the factors studied independently (substrates and recirculation percentages)

CUADRO 2. Tratamientos a evaluar en clavel estándar cv. Delphi cultivado en sustratos con recirculación automática de drenajes.

TABLE 2. Treatments to evaluate in standard carnation cv. Delphi grown in substrates with automatic drainage recirculation.

Tratamientos / Treatments	Sustratos / Substrates	Recirculación (%) / Recirculation (%)
4	35CAQ / 35BRH	0
7	65CAQ / 65BRH	
1	100CAQ / 100BRH	
5	35CAQ / 35BRH	50
8	65CAQ / 65BRH	
2	100CAQ / 100BRH	
6	35CAQ / 35BRH	100
9	65CAQ / 65BRH	
3	100CAQ / 100BRH	

100CAQ = 100 % cascarilla de arroz quemada; 65CAQ = 65 % cascarilla de arroz quemada - 35 % fibra de coco; 35CAQ = 35 % cascarilla de arroz quemada - 65 % fibra de coco.

100BRH = 100 % burned rice husk; 65BRH = 65 % burned rice husk - 35 % coconut fiber; 35BRH = 35 % burned rice husk - 65 % coconut fiber.

Los datos obtenidos del experimento para cada una de las variables estudiadas se analizaron mediante un análisis de varianza bajo el modelo de parcelas subdivididas con el paquete estadístico SAS versión 9.2 (Anónimo, 2009). Se midió el efecto de los factores estudiados de manera independiente (sustratos y porcentajes de recirculación) así como el efecto la interacción de sustratos por porcentajes de recirculación (tratamientos).

## RESULTADOS Y DISCUSIÓN

### Calcio en el lixiviado

La concentración de calcio en función de la recirculación y de los sustratos presenta una tendencia similar, mostrando las concentraciones más altas en la primera y en la última etapa fenológica. Se aprecia que la concentración del ion en función de la recirculación tiende a ser mayor en los tratamientos sin recirculación, con diferencias significativas entre los tratamientos en algunas etapas (Figura 1A). Por otro lado, la concentración de calcio en función de los sustratos fue significativamente mayor en el tratamiento con menor

and the effect of the interaction of substrates by recirculation percentages (treatments) were measured.

## RESULTS AND DISCUSSION

### Calcium in the leachate

The calcium concentration as a function of the recirculation and substrates shows a similar trend, showing the highest concentrations in the first and last phenological stage. It can be seen that the concentration of the ion as a function of recirculation tends to be higher in the treatments without recirculation, with significant differences among the treatments in some stages (Figure 1A). On the other hand, the calcium concentration as a function of the substrates was significantly greater in the treatment with the lowest BRH content in the “first peak” and “disbudding” phenological stages (Figure 1B).

Triana *et al.* (2006) reported that for Charlotte rose variety plants grown in organic substrates based on CF and BRH, without recirculation, the calcium concentrations found in



contenido de CAQ, en las etapas fenológicas “primer pico” y “desbotone” (Figura 1B).

Triana *et al.* (2006) reportaron que para rosa variedad Charlotte cultivada en sustratos orgánicos a base de FC y CAQ, sin recirculación, las concentraciones de calcio encontradas en el lixiviado fueron de 187.3 a 315.3 mg·litro<sup>-1</sup>, mucho mayor a las obtenidas en el presente ensayo, con y sin recirculación. Dasgan y Ekici (2005) encontraron en plantas de tomate que el reciclado de la solución nutritiva incrementó el calcio entre 13 y 36 % durante el ciclo del cultivo; la solución nutritiva original contenía 3.74 a 5.0 mmol (150 a 200 mg·litro<sup>-1</sup>).

the leachate were from 187.3 to 315.3 mg·litro<sup>-1</sup>, much higher than those obtained in the present trial, with and without recirculation. Dasgan and Ekici (2005) found in tomato plants that recycling the nutrient solution increased the calcium content by 13 to 36 % during cultivation; the original nutrient solution contained 3.74 to 5.0 mmol (150 to 200 mg·litro<sup>-1</sup>).

### Calcium in the tissue

Starting from the “transition” stage, the calcium content as a function of the recirculation and substrates has a slight tendency to decrease with crop age (data not shown),

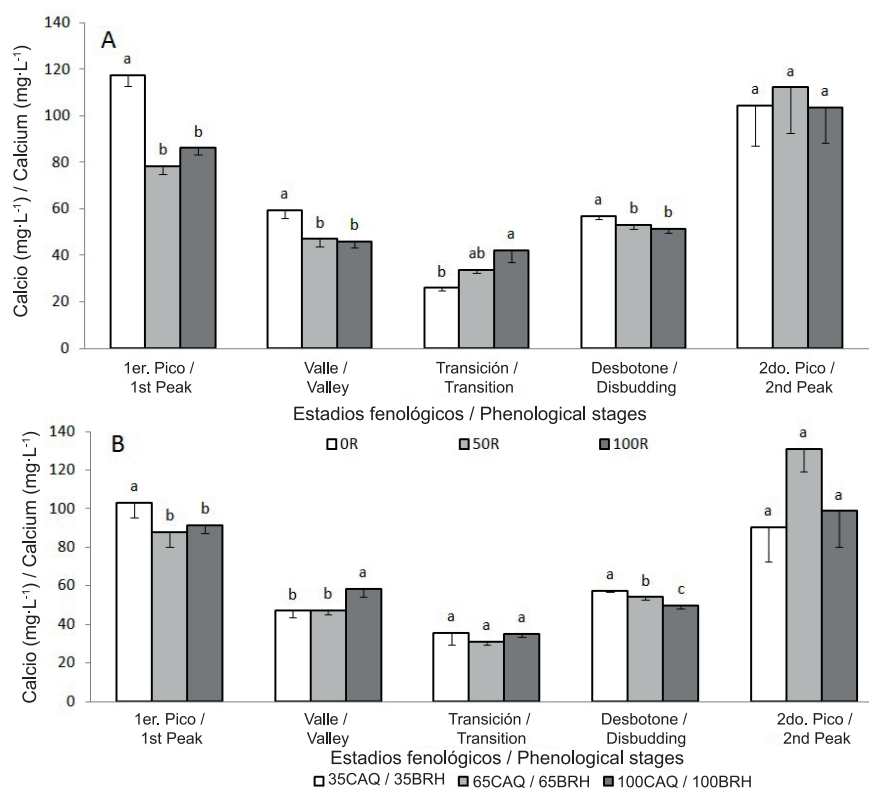


FIGURA 1. Comportamiento de la concentración de calcio en el lixiviado: (A) en función del factor recirculación (0, 50 y 100 %) de forma independiente del sustrato, y en (B) del factor sustrato (35CAQ, 65CAQ y 100CAQ), en clavel estándar cv. Delphi.

35CAQ = 35 % cascarilla de arroz quemada más 65 % de fibra de coco; 65CAQ = 65 % cascarilla de arroz quemada más 35 % de fibra de coco y 100CAQ = 100 % cascarilla de arroz quemada. Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

FIGURE 1. Behavior of the calcium concentration in the leachate: (A) on the basis of the recirculation factor (0, 50 and 100 %) independently of the substrate, and (B) the substrate factor (35BRH, 65BRH and 100BRH), in standard carnation cv. Delphi.

35BRH = 35 % burned rice husk plus 65 % coconut fiber; 65BRH = 65 % burned rice husk plus 35 % coconut fiber and 100BRH = 100 % burned rice husk. Averages followed by different letters indicate significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

## Calcio en el tejido

A partir del estadio “transición”, el contenido de calcio en función de la recirculación y de los sustratos presenta una leve tendencia a disminuir con la edad del cultivo (datos no mostrados), aun cuando no se encontraron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos para esas etapas fenológicas.

Esta tendencia es contraria a lo expuesto por Sánchez-Alonso y Lachica (1987), quienes afirman que con excepción de calcio y, en algunos casos, de hierro y boro, el contenido de nutrientes con base en la masa seca disminuye a medida que avanza la edad de la planta o de sus órganos. La causa de esta disminución se debe principalmente a un incremento relativo del material estructural (paredes celulares y ligninas) y compuestos almacenados (almidones) en la masa seca (Marschner, 1995). Mientras que en el ensayo realizado por Kleiber *et al.* (2009), con el envejecimiento de las plantas de anturio se determinó una disminución significativa en el contenido de calcio en la mayoría de los cultivares estudiados.

Para este elemento no se presentaron deficiencias ya que las concentraciones en la planta se mantuvieron en el rango de 0.8 a 1.52 %. De acuerdo con Price (1986), los contenidos foliares adecuados para calcio antes de que los botones florales sean visibles deben estar entre 1.0 y 2.0 %; y considerados deficientes cuando están por debajo de 0.6 %, según valores establecidos a partir de datos de estudios en cultivos comerciales. En general estos son los rangos que se deben mantener durante el cultivo; rangos obtenidos a partir de registros de diagnóstico derivados de un banco de datos de análisis.

## Calcio en el sustrato

Para el contenido de calcio en los sustratos en función de la recirculación no se encontraron diferencias significativas (datos no mostrados), por lo que se podría inferir que la concentración de este ion en el sustrato se mantiene de forma independiente de la recirculación. Al contrario, cuando esta variable se analizó en función de los sustratos, el contenido de calcio fue significativamente menor en el sustrato con mayor contenido de CAQ en todas las etapas fenológicas (Figura 2).

Este comportamiento es contrario al reportado por Fernández *et al.* (2006), quienes encontraron en clavel estándar variedad Nelson que los contenidos de calcio en el sustrato eran excesivos para el sustrato 100CAQ.

En plantas de tomate crecidas en perlita en sistemas abierto y cerrado, Dasgan y Ekici (2005) observaron que las diferencias de concentración entre los dos sistemas no eran de consideración. Las concentraciones promedio de este ion en el sustrato fueron de 12 y 14 mmol y las más altas de 18 y 20 mmol, en los sistemas abierto y cerrado, respectivamente. Al igual que para nitrógeno, potasio, magnesio y fósforo, de

even though no significant statistical differences among treatments for these phenological stages were found.

This trend is contrary to that stated by Sánchez-Alonso and Lachica (1987), who argue that with the exception of calcium and, in some cases, iron and boron, nutrient content based on dry mass decreases as the plant or its organs age. This decrease is mainly due to a relative increase in the structural material (cell walls and lignin) and storage compounds (starches) in the dry matter (Marschner, 1995). While in the trial conducted by Kleiber *et al.* (2009), with the aging of anthurium plants, a significant decrease in the calcium content in most of the studied cultivars was determined.

No deficiencies for this element were shown, as the concentrations in the plant remained between 0.8 to 1.52 %. According to Price (1986), suitable leaf calcium contents before flower buds are visible are between 1.0 and 2.0 %, and are considered deficient when they are below 0.6 %, according to values established from study data on cash crops. In general these ranges should be maintained during cultivation; the ranges are obtained from diagnostic records derived from a database analysis.

## Calcium in the substrate

For the calcium content in the substrates as a function of recirculation, no significant differences (data not shown) were found; therefore, it could be inferred that the concentration of this ion in the substrate is maintained independently of the recirculation. Conversely, when this variable was analyzed as a function of the substrates, the calcium content was significantly lower in the substrate with the highest BRH content in all phenological stages (Figure 2).

This behavior is contrary to that reported by Fernández *et al.* (2006), who found in standard carnation variety Nelson that the calcium contents in the substrate were excessive for the 100BRH substrate.

In tomato plants grown in perlite in open and closed systems, Dasgan and Ekici (2005) observed that the concentration differences between the two systems were not considerable. The average concentrations of this ion in the substrate were 12 and 14 mmol and the highest of 18 and 20 mmol, in open and closed systems, respectively.

As for nitrogen, potassium, magnesium and phosphorus, according to Cabrera *et al.* (1995), calcium follows the same absorption pattern, where the rate of transpiration does not control the periodic element absorption cycles, but the average daily demand for calcium by the plant does.

However, according to Torre *et al.* (2001), the calcium content is much lower in flowers than in leaves. And because of the large difference in the rate of transpiration among flowers, fruits and leaves, the xylem flow is mainly driven by

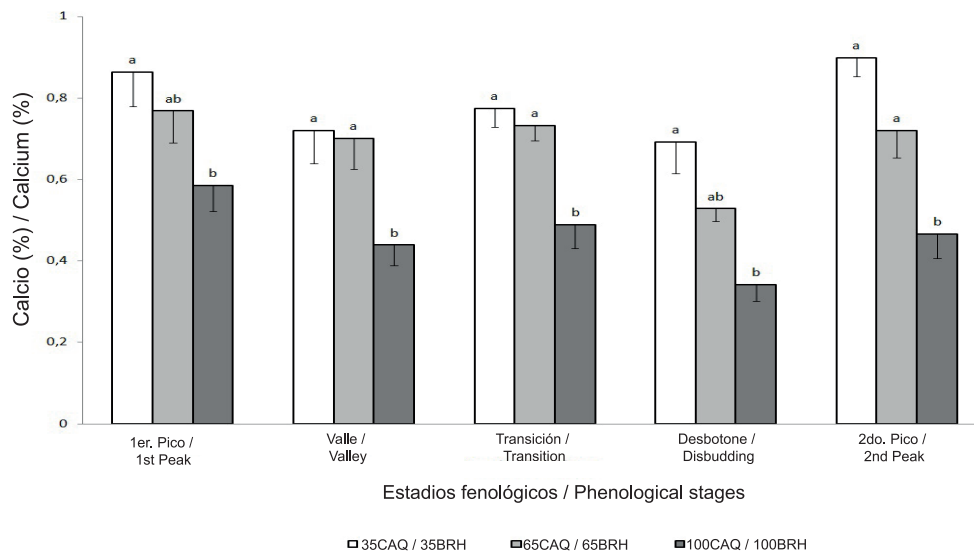


FIGURA 2. Comportamiento del contenido de calcio en el sustrato en función del factor sustrato (35CAQ, 65CAQ y 100CAQ), en clavel estándar cv. Delphi.

35CAQ = 35 % cascarilla de arroz quemada más 65 % de fibra de coco; 65CAQ = 65 % cascarilla de arroz quemada más 35 % de fibra de coco y 100CAQ = 100 % cascarilla de arroz quemada.

Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

FIGURE 2. Behavior of the calcium content in the substrate on the basis of the substrate factor (35BRH, 65BRH and 100BRH), in standard carnation cv. Delphi.

35BRH = 35 % burned rice husk plus 65 % coconut fiber; 65BRH = 65 % burned rice husk plus 35 % coconut fiber and 100BRH = 100 % burned rice husk.

Averages followed by different letters indicate significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

acuerdo con Cabrera *et al.* (1995), el calcio sigue el mismo patrón de absorción, donde la tasa de transpiración no controla los ciclos periódicos de absorción del elemento, pero sí el promedio diario de demanda de calcio por parte de la planta.

Sin embargo, según Torre *et al.* (2001) el contenido de calcio es mucho más bajo en flores que en hojas. Y debido a la gran diferencia en la tasa de transpiración entre flores, frutas y hojas, el flujo del xilema es principalmente dirigido por las hojas altamente transpirantes; por lo que para incrementar el contenido de calcio en las hojas y flores es más efectivo estimular la tasa de transpiración que adicionar más calcio a la solución nutritiva.

#### Magnesio en el lixiviado

Cuando se analizó la concentración del ión magnesio en función de los porcentajes de recirculación, se encontró que aumentó durante el periodo estudiado. Además, la concentración del ion en el tratamiento 100 % es significativamente mayor a 0 % de recirculación, en las últimas tres etapas de

the highly transpirant leaves; therefore, in order to increase the calcium content in the leaves and flowers, it is more effective to stimulate the rate of transpiration than add more calcium to the nutrient solution.

#### Magnesium in the leachate

When the concentration of the magnesium ion as a function of the recirculation percentages was analyzed, it was found that it increased during the study period. Furthermore, the concentration of the ion in the 100 % treatment is significantly higher than 0 % recirculation, in the last three development stages (Figure 3A). Similarly, the magnesium concentration as a function of the substrates increased with the development of the plants, although there were no significant statistical differences among treatments towards the end of the crop development period studied (Figure 3B).

This is consistent with Prado (2000), who states that magnesium, chloride, calcium, sodium and sulfate ions usually exhibit accumulation problems in recirculated nutrient so-



desarrollo (Figura 3A). De forma similar, la concentración de magnesio en función de los sustratos se incrementó con el desarrollo de las plantas, aunque no se presentaron diferencias estadísticas significativas entre los tratamientos hacia el final del periodo de desarrollo del cultivo estudiado (Figura 3B).

Lo anterior concuerda con Prado (2000), quien afirma que el magnesio, el cloruro, el calcio, el sodio y el sulfato son los iones que habitualmente presentan problemas de acumulación en las soluciones nutritivas recirculadas. Aunque para este estudio el incremento de magnesio en función de la recirculación representaría más bien ahorro en fertilizante.

### Magnesio en el tejido

El contenido de este ion en función de la recirculación y de los sustratos es constante; excepto en la etapa “valle”, donde en función de ambos factores es ligeramente menor y, en función de los sustratos, se constataron diferencias significativas entre los tratamientos.

Although for this study, the increase in magnesium as a function of recirculation would instead represent fertilizer savings.

### Magnesium in the tissue

The content of this ion as a function of the recirculation and substrates is constant, except in the “valley” stage, where based on both factors it is slightly lower and, based on the substrates, significant differences among the treatments were confirmed.

These results concur with those of Kleiber *et al.* (2009), who with regard to magnesium reported that there was no significant effect in the vegetative period on the nutrition of anthurium plants. This contradicts what was reported by Fernández *et al.* (2006), who found that for standard carnation variety Nelson the content of this ion decreased during the crop cycle, presenting the highest, even excessive values in the pinch stage. In the present trial, the magnesium

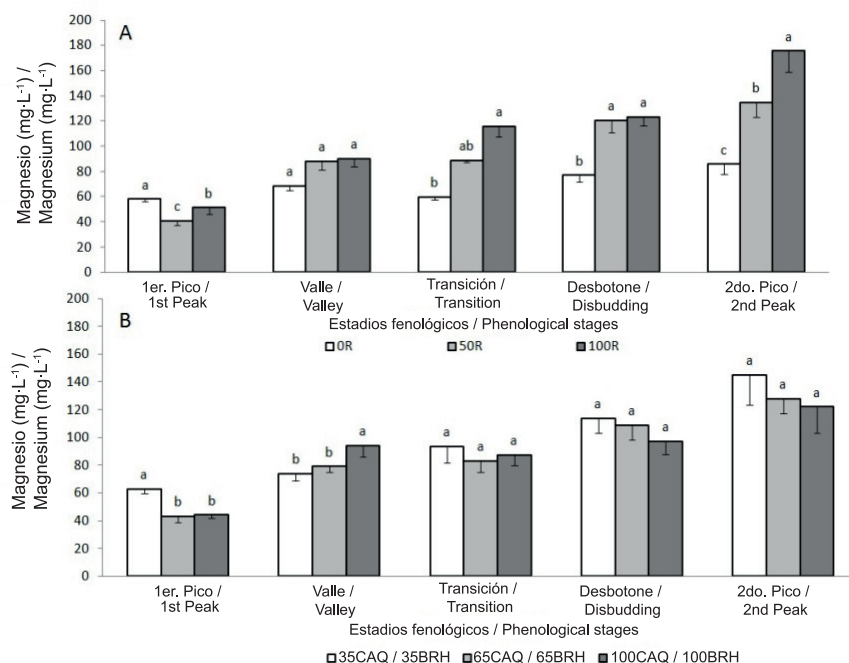


FIGURA 3. Comportamiento de la concentración de magnesio en el lixiviado: (A) en función del factor recirculación (0, 50 y 100 %) de forma independiente del sustrato, y en (B) del factor sustrato (35CAQ, 65CAQ y 100CAQ), en clavel estándar cv. Delphi.

35CAQ = 35 % cascarilla de arroz quemada más 65 % de fibra de coco; 65CAQ = 65 % cascarilla de arroz quemada más 35 % de fibra de coco y 100CAQ = 100 % cascarilla de arroz quemada.

Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

FIGURE 3. Behavior of the magnesium concentration in the leachate: (A) on the basis of the recirculation factor (0, 50 and 100 %) independently of the substrate, and (B) the substrate factor (35BRH, 65BRH and 100BRH), in standard carnation cv. Delphi.

35BRH = 35 % burned rice husk plus 65 % coconut fiber; 65BRH = 65 % burned rice husk plus 35 % coconut fiber and 100BRH = 100 % burned rice husk.

Averages followed by different letters indicate significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

Estos resultados concuerdan con Kleiber *et al.* (2009), quienes con respecto al magnesio reportan que no hubo efecto significativo en el periodo vegetativo en la nutrición de las plantas de anturio. Contrario a lo reportado por Fernández *et al.* (2006), quienes encontraron que para clavel estándar variedad Nelson el contenido de este ión decreció durante el ciclo del cultivo, presentando los valores más altos, incluso excesivos, en la etapa de *pinch*. En el presente ensayo, el contenido de magnesio se mantuvo entre 0.49 y 0.67 %, dentro del rango óptimo de acuerdo con información recopilada por Price (1986), donde los contenidos foliares adecuados de este elemento deben estar entre 0.25 y 0.50 %; y se considera deficiente cuando está por debajo de 0.15 %.

### Magnesio en el sustrato

Los porcentajes de magnesio en función de la recirculación no presentaron diferencias estadísticas entre los tratamientos para la mayoría de las etapas fenológicas estudiadas, pero, se observa una tendencia de menor contenido para los tratamientos sin recirculación en todas las etapas evaluadas (Figura 4A). Cuando el contenido de este ion es analizado en función de los sustratos, se encuentra que para el sustrato con menor contenido de cascarilla (35CAQ) el contenido de magnesio es significativamente mayor que para el sustrato con 100 % de CAQ, en todas las etapas estudiadas (Figura 4B).

En función de la recirculación y de los sustratos se observa mayor contenido del ion magnesio en la última etapa de desarrollo evaluada, lo cual coincide con Dasgan y Ekici (2005), quienes reportaron en plantas de tomate las más altas concentraciones en las últimas dos semanas de cultivo, con valores de 10.76 y 10.72 mmol en los sistemas abierto y cerrado, respectivamente. En el sistema cerrado se incremento de un contenido de 4 a 24 % más magnesio durante el cultivo. Los autores reportan una moderada acumulación de este ion en ambos sistemas, aunque resaltan que pudo ser debido a que la concentración de la solución original suministrada, que contenía 50 mg·litro<sup>-1</sup>, podría ser mayor debido a la concentración en el agua utilizada para la preparación de la solución nutritiva (0.73 mol o 17.8 mg·litro<sup>-1</sup>).

### Azufre en el lixiviado

Para el contenido de sulfato en función de los porcentajes de recirculación se presentaron diferencias significativas en las etapas “primer pico”, “transición” y “segundo pico”; de hecho, a lo largo del periodo estudiado, se observa una tendencia al aumento de la concentración de este ion, a medida en que aumenta el porcentaje de recirculación. Esta tendencia se hace significativa en las etapas “transición” y “segundo pico” (Figura 5A). Lo anterior, posiblemente se presenta por tratarse de un ion soluble poco retenido por los sustratos; concordando con López *et al.* (1996), quienes afirman que en los sistemas de cultivo hidropónico, reciclar la solución de nutrientes provoca acumulación de iones sulfato, lo cual

content remained between 0.49 and 0.67 %, within the optimal range based on information compiled by Price (1986), where appropriate leaf contents of this element should be between 0.25 and 0.50 %, and is considered deficient when it is below 0.15 %.

### Magnesium in the substrate

The magnesium percentages as a function of recirculation were not statistically different among treatments for most of the phenological stages studied, but there was a tendency for lower content for the treatments without recirculation in all the evaluated stages (Figure 4A). When the content of this ion is analyzed as a function of the substrates, it is found that for the substrate with the lowest husk content (35BRH) the magnesium content is significantly higher than for the substrate with 100 % BRH, at all stages studied (Figure 4B).

As a function of the recirculation and substrates, higher magnesium ion content is observed in the last development stage assessed, which coincides with Dasgan and Ekici (2005), who in tomato plants reported the highest concentrations in the last two weeks of cultivation, with values of 10.76 and 10.72 mmol in open and closed systems, respectively. In the closed system the magnesium content increased by 4 to 24 % during cultivation. The authors report a moderate accumulation of this ion in both systems, but stress that this might be because the concentration of the originally supplied solution, which contained 50 mg·liter<sup>-1</sup>, could be higher due to the concentration in the water used for preparing the nutrient solution (0.73 mol or 17.8 mg·liter<sup>-1</sup>).

### Sulfur in the leachate

For the sulfate content as a function of the recirculation percentages, significant differences in the “first peak”, “transition” and “second peak” stages occurred; in fact, throughout the study period, a tendency for the concentration of this ion to increase as the recirculation percentage increases is observed. This trend becomes significant in the “transition” and “second peak” stages (Figure 5A). The above is possibly because it is a soluble ion little retained by the substrates; this coincides with López *et al.* (1996), who state that in hydroponic growing systems, recycling the nutrient solution causes accumulation of sulfate ions, which can lead to nutrient imbalances that affect crop yield. In tomato plants grown in perlite, Dasgan and Ekici (2005) found that differences between an open and closed system arose at twelve weeks after transplanting, and the recycled solution had 36, 34 and 34 % more sulfates respectively at 16, 20 and 24 weeks after transplanting. After 26 weeks, the difference in sulfate levels between the two systems decreased to 17 %.

Zekki *et al.* (1996) found that while the EC and pH remained at optimum levels in a tomato growing system using the nutrient film technique, no nutritional problems were observed in the cultivated plants; however, unbalanced mi-

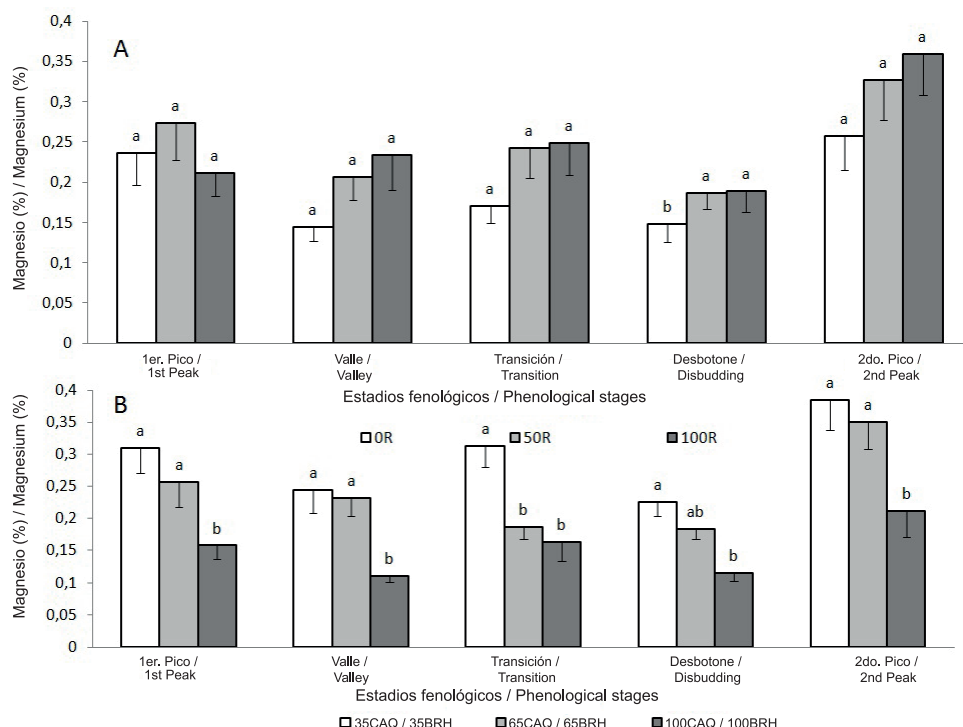


FIGURA 4. Comportamiento de la concentración de magnesio en el sustrato: (A) en función del factor recirculación (0, 50 y 100 %) de forma independiente del sustrato, y en (B) del factor sustrato (35CAQ, 65CAQ y 100CAQ), en clavel estándar cv. Delphi.

35CAQ = 35 % cascarilla de arroz quemada más 65 % de fibra de coco; 65CAQ = 65 % cascarilla de arroz quemada más 35 % de fibra de coco y 100CAQ = 100 % cascarilla de arroz quemada.

Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

FIGURE 4. Behavior of the magnesium concentration in the substrate: (A) on the basis of the recirculation factor (0, 50 and 100 %) independently of the substrate, and (B) the substrate factor (35BRH, 65BRH and 100BRH), in standard carnation cv. Delphi.

35BRH = 35 % burned rice husk plus 65 % coconut fiber; 65BRH = 65 % burned rice husk plus 35 % coconut fiber and 100BRH = 100 % burned rice husk.

Averages followed by different letters indicate significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

puede generar desequilibrios de nutrientes que afectan el rendimiento del cultivo. En plantas de tomate cultivadas en perlita, Dasgan y Ekici (2005) encontraron que las diferencias entre un sistema abierto y uno cerrado surgieron a las doce semanas después del trasplante; y la solución reciclada presentó 36, 34 y 34 % más sulfatos respectivamente en las semanas 16, 20 y 24 después de trasplante. Tras 26 semanas, la diferencia en los niveles de sulfato entre los dos sistemas disminuyó a 17 %.

Zekki *et al.* (1996) encontraron que mientras se mantuvieron la CE y el pH en los niveles óptimos en un sistema de cultivo de tomate en NFT, no se observó ningún problema nutricional en las plantas cultivadas; sin embargo, las concentraciones minerales desequilibradas dieron lugar a la acumulación de  $\text{SO}_4^{2-}$  en el sistema, debido al reciclaje que se produce durante largos períodos de uso de la solución nutritiva.

Cuando la variable sulfato se analiza en función de los sustratos, de manera general se observa tendencia al incremen-

teral concentrations resulted in  $\text{SO}_4^{2-}$  accumulation in the system, due to the recycling which occurs during extended periods of nutrient solution use.

When the sulfate variable is analyzed as a function of substrates, there is a general tendency for it to increase with crop development, except in the "disbudding" stage. The highest sulfate concentrations in the leachate occur under the effect of the 35BRH substrate (Figure 5B), which could be due to the anion exchange capacity (AEC) of the coconut fiber, allowing greater contractions of the sulfate anion in the leachate.

Depending on the phenological stage, both the recirculation and the substrate exert an effect on the behavior of the sulphate content in the leachate.

#### Sulfur in the tissue

The sulfur content in the tissue as a function of recirculation showed no significant statistical differences, while, based on

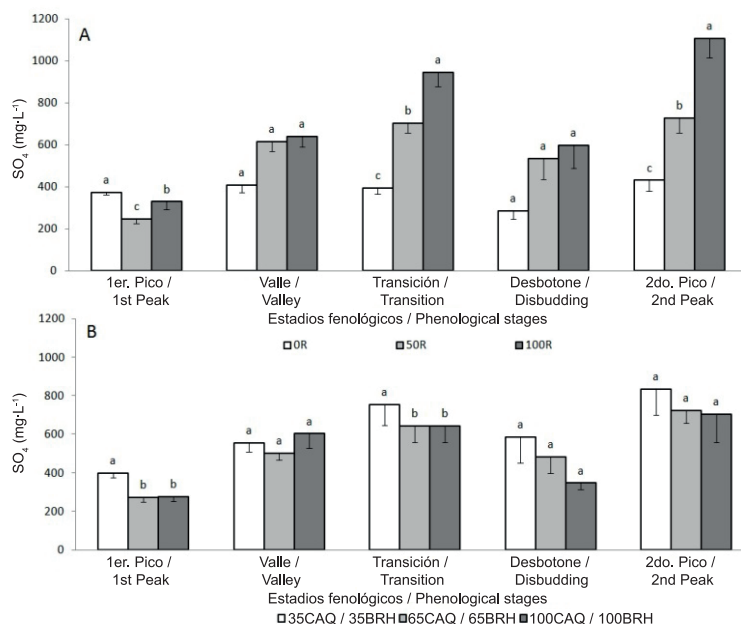


FIGURA 5. Comportamiento de la concentración de sulfato en el lixiviado: (A) en función del factor recirculación (0, 50 y 100 %) de forma independiente del sustrato, y en (B) del factor sustrato (35CAQ, 65CAQ y 100CAQ), en clavel estándar cv. Delphi.

35CAQ = 35 % cascarilla de arroz quemada más 65 % de fibra de coco; 65CAQ = 65 % cascarilla de arroz quemada más 35 % de fibra de coco y 100CAQ = 100 % cascarilla de arroz quemada.

Promedios seguidos con letras distintas indican diferencias significativas según la prueba de Tukey ( $P \leq 0.05$ ).

FIGURE 5. Behavior of the sulphate concentration in the leachate: (A) on the basis of the recirculation factor (0, 50 and 100 %) independently of the substrate, and (B) the substrate factor (35BRH, 65BRH and 100BRH), in standard carnation cv. Delphi.

35BRH = 35 % burned rice husk plus 65 % coconut fiber; 65BRH = 65 % burned rice husk plus 35 % coconut fiber and 100BRH = 100 % burned rice husk.

Averages followed by different letters indicate significant differences according to Tukey's test ( $P \leq 0.05$ ).

to con el avance del cultivo, excepto en la etapa “desbotone”. Las mayores concentraciones de sulfato en los lixiviados estarían bajo el efecto del sustrato 35CAQ (Figura 5B); lo cual podría deberse a la capacidad de intercambio aniónico (CIA) de la fibra de coco, permitiendo mayores contracciones del anión sulfato en los lixiviados.

Dependiendo de la etapa fenológica, tanto la recirculación como el sustrato ejercen efecto en el comportamiento del contenido de sulfato en los lixiviados.

#### Azufre en el tejido

El contenido de azufre en el tejido en función de la recirculación no presenta diferencias estadísticas significativas, mientras que, en función de los sustratos sólo se presenta diferencia significativa en la etapa “desbotone” (Datos no mostrados); pero, se observa que de manera independiente de la recirculación y de los sustratos, la concentración de azufre presenta la misma tendencia, los valores más bajos en el estadio “valle” y un ligero aumento a medida que avanza el cultivo.

the substrates, significant differences were only observed in the “disbudding” stage (data not shown); however, independently of the recirculation and substrates, the sulfur concentration presents the same trend, the lowest values in the “valley” stage and a slight increase as the crop develops.

This behavior could be attributed to the increase in biomass resulting from crop development over time. The contents found in this study are consistent with adequate ranges (0.1 to 0.3 %) reported by Bennett (1993) for grains and legumes.

The behavior of the sulfur concentration in the tissue is influenced in the “disbudding” stage by the substrates, whereas in the other stages it is not dependent on either the substrates or the recirculation.

#### Sulfur in the substrate

The sulfur content in the substrate as a function of the recirculation and the substrates showed neither a clear trend nor significant differences in any of the phenological stages eva-

Este comportamiento podría atribuirse al incremento en biomasa consecuente con el desarrollo del cultivo en el tiempo. Los contenidos encontrados en este ensayo concuerdan con rangos adecuados de suficiencia (0.1 a 0.3 %) reportados por Bennett (1993), para granos y legumbres.

El comportamiento de la concentración de azufre en el tejido es influenciado en la etapa "desbotone" por los sustratos, en las demás etapas no depende de los sustratos ni de la recirculación.

### Azufre en el sustrato

El contenido de azufre en el sustrato en función de la recirculación y de los sustratos no presenta una tendencia clara ni diferencias significativas en ninguno de los estadios fenológicos evaluados. Es decir que el comportamiento del porcentaje de azufre en los sustratos no es afectado por el nivel de recirculación ni por el tipo de sustrato. Aun cuando no se presentaron diferencias significativas en función de los sustratos, se observó en casi todas las etapas, que los contenidos más bajos se obtuvieron en el sustrato con mayor contenido de CAQ, es decir que los sustratos que más lo retienen serían 35CAQ y 65CAQ, con porcentajes de FC. Esto podría deberse a la capacidad de intercambio aniónico, que está inversamente relacionada con el pH del suelo; a pH bajo se pueden desarrollar cargas positivas que retienen  $\text{SO}_4^{-2}$ , esta retención es mínima cuando el pH es mayor a 6.0; adicionalmente, la materia orgánica en algunas ocasiones también desarrolla cargas positivas capaces de atraer este elemento (Foth, 1990).

Confrontando estos resultados con los obtenidos por Dasgan y Ekici (2005) en plantas de tomate cultivadas en perlita en sistemas abierto y cerrado, en el sustrato no se presentó acumulación de azufre en ninguno de los sistemas evaluados.

Es de resaltar que los mayores contenidos de calcio y magnesio se encontraron en el sustrato con mayor porcentaje de fibra de coco (35CAQ) (Figuras 2 y 4B, respectivamente), el cual presentó la mayor CIC (Vélez *et al.*, 2014). En los sustratos con mayor CIC los coloides electronegativos del sustrato, en este caso la materia orgánica, pueden retener estos cationes (Navarro y Navarro, 2003). La CIC se incrementa a medida que la materia orgánica aumenta (Farrús y Vadell, 2002).

### CONCLUSIONES

La concentración del ion calcio en el lixiviado fue significativamente mayor sin recirculación, y en función del sustrato tendió a ser mayor en la mezcla con mayor porcentaje de FC, mientras que la concentración de magnesio en el lixiviado aumentó de manera independiente de los factores, la cual fue significativamente mayor, a medida que se incrementó el porcentaje de recirculación de los lixiviados. Los contenidos

de azufre en el sustrato no fueron afectados por el nivel de recirculación ni por el tipo de sustrato. Mientras no se encontraron diferencias significativas basadas en los sustratos, se observó en casi todas las etapas que los contenidos más bajos se obtuvieron en el sustrato con el mayor contenido de BRH, es decir, los sustratos que lo retienen más son 35BRH y 65BRH, con porcentajes de CF. Esto podría deberse a la capacidad de intercambio aniónico, que está inversamente relacionada con el pH del suelo; a pH bajo, cargas positivas que retienen  $\text{SO}_4^{-2}$  pueden desarrollarse, mientras que esta retención es mínima cuando el pH es mayor a 6.0. Adicionalmente, la materia orgánica también desarrolla cargas positivas que pueden atraer este elemento (Foth, 1990).

Comparando estos resultados con los obtenidos por Dasgan y Ekici (2005) en plantas de tomate cultivadas en perlita en sistemas abiertos y cerrados, no se presentó acumulación de azufre en el sustrato en ninguno de los sistemas evaluados.

Es notable que los mayores contenidos de calcio y magnesio se encontraron en el sustrato con el mayor porcentaje de fibra de coco (35BRH) (Figuras 2 y 4B, respectivamente), el cual presentó la mayor CIC (Vélez *et al.*, 2014). En sustratos con mayor CIC, los coloides electronegativos del sustrato, en este caso la materia orgánica, pueden retener estos cationes (Navarro y Navarro, 2003). La CIC aumenta a medida que la materia orgánica aumenta (Farrús y Vadells, 2002).

### CONCLUSIONES

La concentración del ion calcio en el lixiviado fue significativamente mayor sin recirculación, y en función del sustrato tendió a ser mayor en la mezcla con el mayor porcentaje de CF, mientras que la concentración de magnesio en el lixiviado aumentó de manera independiente de los factores, la cual fue significativamente mayor, a medida que se incrementó el porcentaje de recirculación de los lixiviados. Los contenidos de azufre en el sustrato no fueron afectados por el nivel de recirculación ni por el tipo de sustrato. Mientras no se encontraron diferencias significativas basadas en los sustratos, se observó en casi todas las etapas que los contenidos más bajos se obtuvieron en el sustrato con el mayor contenido de BRH, es decir, los sustratos que lo retienen más son 35BRH y 65BRH, con porcentajes de CF. Esto podría deberse a la capacidad de intercambio aniónico, que está inversamente relacionada con el pH del suelo; a pH bajo, cargas positivas que retienen  $\text{SO}_4^{-2}$  pueden desarrollarse, mientras que esta retención es mínima cuando el pH es mayor a 6.0. Adicionalmente, la materia orgánica también desarrolla cargas positivas que pueden atraer este elemento (Foth, 1990).

Comparando estos resultados con los obtenidos por Dasgan y Ekici (2005) en plantas de tomate cultivadas en perlita en sistemas abiertos y cerrados, no se presentó acumulación de azufre en el sustrato en ninguno de los sistemas evaluados.

Es notable que los mayores contenidos de calcio y magnesio se encontraron en el sustrato con el mayor porcentaje de fibra de coco (35BRH) (Figuras 2 y 4B, respectivamente), el cual presentó la mayor CIC (Vélez *et al.*, 2014). En sustratos con mayor CIC, los coloides electronegativos del sustrato, en este caso la materia orgánica, pueden retener estos cationes (Navarro y Navarro, 2003). La CIC aumenta a medida que la materia orgánica aumenta (Farrús y Vadells, 2002).



dos de ambos iones fueron significativamente menores en el sustrato con mayor contenido de CAQ. Sin embargo, en el tejido de la planta entera los porcentajes de calcio y magnesio no fueron influenciados.

El ion sulfato en los lixiviados aumentó su concentración a medida que aumentó el porcentaje de recirculación, con mayores concentraciones bajo el efecto del sustrato con mayor contenido de FC. Las concentraciones de azufre en el tejido de la planta entera y en los sustratos no dependen de los factores; es decir, ni de la recirculación ni de los sustratos.

Para sistemas cerrados, se recomienda ajustar en las fórmulas de fertirriego las concentraciones de magnesio y azufre, en razón a su aumento con la recirculación. Cuando en el sustrato se mantengan porcentajes de fibra de coco, es necesario considerar la retención de los iones calcio y magnesio, pues sus concentraciones son significativamente mayores en el sustrato con mayor contenido de fibra de coco.

## AGRADECIMIENTOS

Los autores agradecen al Ministerio de Agricultura y Desarrollo Rural, a Colciencias y a Ceniflores, por su financiación en efectivo; así como a las empresas Suata Plants S.A. por la donación del material vegetal, a Productos Químicos Andinos S.A. por la cesión de los materiales plásticos de cubierta y de contenedores de las camas de cultivo y a Brenntag Colombia S.A. por suministrar las soluciones nutritivas para fertirriego. Estos aportes hicieron posible la realización del proyecto "Producción más limpia en el cultivo de clavel en sustrato en la sabana de Bogotá", en cuyo marco se desarrolló el presente trabajo de investigación.

## LITERATURA CITADA

- ABAD, M.; NOGUERA, P.; CARRIÓN C., P. 2005. Sustratos para el cultivo sin suelo y fertirrigación, pp. 299-354. *In: Fertirrigación. Cultivos Hortícolas y Ornamentales.* CADAHÍA, C. (ed.). Ediciones Mundi-Prensa. Madrid, España.
- ALARCÓN V., A. L.; URRESTARAZU, M. 2006. Cultivo en coco, pp. 117-130. *In: Cultivos sin Suelo. Compendios de Horticultura*, 17. ALARCÓN V., A. L. (ed.). Ediciones de Horticultura, S. L. Reus, España.
- ANÓNIMO. 2003. Development of a Framework for Good Agricultural Practices. United Nations Food and Agriculture Organization (FAO). Rome.
- ANÓNIMO. 2009. Statistical Analysis System-SAS. SAS/GLM User's Guide, Release 9.2 Edition. SAS Institute Inc. Cary, NC.
- ANÓNIMO. 2013. Estación meteorológica de Tibaitatá. Instituto de Hidrología, Meteorología y Estudios Ambientales de Colombia. IDEAM. Mosquera, Cundinamarca, Colombia.
- ARREAZA, P. 2000. Técnicas básicas del cultivo del clavel. pp. 15-40. *In: Clavel (Dianthus caryophyllus).* PIZANO M., M. Ediciones Hortitecnia Ltda. Bogotá, Colombia.

## ACKNOWLEDGMENTS

The authors wish to thank Colombia's Ministry of Agriculture and Rural Development, *Colciencias* and *Ceniflores* for their funding, and the companies *Suata Plants S.A.* for donating the plant material, *Productos Químicos Andinos S.A.* for providing the plastic covering material and the growing bed containers and *Brenntag Colombia S.A.* for providing the nutrient solutions for fertigation. These contributions made it possible to undertake the project entitled "Cleaner production in carnation growing in substrate in the Bogota plateau," under which framework this research was carried out.

## End of English Version

- AZCÓN-BIETO, J.; TÁLON, M. 2000. Fundamentos de Fisiología Vegetal. McGraw Hill Interamericana - Ediciones Universitat de Barcelona. Madrid, España. 522 p.
- BENNETT, W. F. 1993. Nutrient Deficiencies and Toxicities in Crop Plants. American Phytopathological Society Press. Minnesota, USA. 202 p.
- BERNSTEIN, L.; HAYWARD, H. E. 1958. Physiology of salt tolerance. *Annual Review of Plant Physiology* 9(1): 25-46. doi: 10.1146/annurev.pp.09.060158.000325
- BURÉS, S. 1997. Sustratos. Ediciones Agrotécnicas S. L. Madrid, España. 342 p.
- CABRERA, R. I.; EVANS, R. Y.; PAUL, J. L. 1995. Cyclic nitrogen uptake by green house roses. *Scientia Horticulturae* 63(1-2): 57-66. doi: 10.1016/0304-4238(95)00789-V
- CARRILLO, I. F.; MEJÍA, B.; FRANCO, H. F. Manual de laboratorio para análisis foliares. 1994. Centro Nacional de Investigaciones de Café (CENICAFE). Chinchiná, Colombia. 51 p.
- CUERVO, W.; FLÓREZ, V.; GONZÁLEZ, C. 2011. Generalidades de la automatización y control para el reciclaje de drenajes en cultivos bajo cubierta, pp. 247-275. *In: Sustratos, Manejo del Clima, Automatización y Control en Sistemas de Cultivo sin Suelo.* FLÓREZ R, V. J. (ed.). Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia.
- DASGAN, H. Y.; EKICI, B. 2005. Comparison of open and recycling systems for ion accumulation of substrate, nutrient uptake and water and water use of tomato plants. *Acta Horticulturae* 697: 399-408. [http://195.130.72.98/images/stories/acta/Acta%20697/697\\_51.pdf](http://195.130.72.98/images/stories/acta/Acta%20697/697_51.pdf)
- FARRÚS, E.; VADELL, J. 2002. Relaciones entre parámetros de fertilidad química y retención de agua en suelos desarrollados sobre calizas margosas y calizas duras. *Bolletí de la Societat d'Història Natural de les Balears*, 45: 117-124. [http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/bolletiHistoriaNatural/index/assoc/Bolleti\\_/2002v045/p117.dir/Bolleti\\_2002v045p117.pdf](http://ibdigital.uib.es/greenstone/collect/bolletiHistoriaNatural/index/assoc/Bolleti_/2002v045/p117.dir/Bolleti_2002v045p117.pdf)
- FERNÁNDEZ M., A. C.; FLÓREZ R, V. J.; CHAVES C., B. 2006. Niveles foliares de nutrientes en clavel variedad 'Nelson' y su relación con la producción, pp. 236-247. *In: Avances sobre Fertirriego en la Floricultura Colombiana.* FLÓREZ R., V.

- J., FERNÁNDEZ M., A. C., MIRANDA L., D., CHAVES C., B. GUZMÁN P., J. M. (eds.). Unibiblos. Bogotá, Colombia.
- FOTH, H. D. 1990. Fundamentals of Soil Science. Eighth edition. John Wiley & Sons Inc. New York, USA. 360 p. <http://sciencelibrary.net/3022/foth-fundamentals-of-soil-science-8e-wiley-1990.html>
- HOLLEY, W. D.; BAKER, R. 1991. Carnation Production II. Kendall/Hunt Publishing Company. Dubuque, IA, USA. 156 p.
- KLEIBER, T.; KOMOSA, A.; KRZYSZKOWSKA, J.; MOLIŃSKI, K. 2009. Seasonal changes in the nutritional status and yielding of Anthurium cultorum Birdsey. Part I. Macroelements. Folia Horticulturae 21(1): 81-93. doi: 10.2478/fhort-2013-0128
- LOPEZ, J., TREMBLAY, N., VOOGT, W., DUB, S.; GOSSELIN, A. 1996. Effects of varying sulphate concentrations on growth, physiology and yield of the greenhouse tomato. Scientia Horticulturae 67(3): 207-217. doi: 10.1016/S0304-4238(96)00948-X
- MARFÀ, O. 2000. La recirculación en cultivos sin suelo. Elementos básicos, pp. 21-27. In: Recirculación en Cultivos sin Suelo. Compendios de Horticultura, 14. MARFÀ, O. (ed.). Ediciones de Horticultura, S. L. Reus, España.
- MARFÀ, O.; CASDESÚS, J.; CÁCERES, R. 2006. Recirculación en cultivos sin suelo, pp. 175 -190. In: Cultivos sin Suelo. Compendios de Horticultura, 17. ALARCÓN V., A. L. (ed.). Ediciones de Horticultura, S. L. Reus, España.
- MARSCHNER, H. 1995. Mineral Nutrition of Higher Plants. Academic Press. London, England. 889 p.
- MELO M., O. O.; LÓPEZ P., L. A.; MELO M., S. E. 2007. Diseño de Experimentos Métodos y Aplicaciones. Editorial Universidad Nacional de Colombia. Bogotá, Colombia. 668 p.
- MENESES, V. 2004. Caracterización física, en función del tiempo de uso, del sustrato empleado en cultivos de clavel del grupo Américaflor Ltda. Universidad Nacional de Colombia, Bogotá. 60 p.
- MENGEL, K.; KIRKBY, E.; KOSEGARTEN, H.; APPEL, T. 2001. Principles of Plant Nutrition. 5<sup>th</sup> edition. Kluwer Academic Publishers. Dordrech, The Netherlands. 851 p. doi: 10.1007/978-94-010-1009-2
- NAVARRO B., S.; NAVARRO G., G. 2003. Química Agrícola. Segunda edición. Mundi-Prensa. Madrid, España. 488 p.
- PRADO, C.C. 2000. Recomposición de soluciones nutritivas, pp. 29-38. In: Recirculación en Cultivos sin Suelo. Compendios de Horticultura, 14. MARFÀ, O. (ed.). Ediciones de Horticultura, S. L. Reus, España.
- PRICE, G. H. 1986. Ornamentals, pp. 188-218. In: Plant Analysis: An Interpretation Manual. REUTER, D.; ROBINSON, J. B. Editorial Committee. Melbourne, Australia.
- SÁNCHEZ-ALONSO, F.; LACHICA, M. 1987. Seasonal trends in the elemental content of sweet cherry leaves. Communications in Soil Science and Plant Analysis 18(1): 17-29. doi:10.1080/00103628709367800
- TORRE, S.; FJELD, T.; GISLERØD, H. R. 2001. Effects of air humidity and K/Ca ratio in the nutrient supply on growth and postharvest characteristic of cut roses. Scientia Horticulturae 90(3-4): 291-304. doi: 10.1016/S0304-4238(01)00230-8
- TRIANA M., Y.; CASTIBLANCO., E. M.; FLÓREZ R., V. J. 2006. Comportamiento de nutrientes en un sistema de cultivo sin suelo en rosa, pp. 249-263. In: Avances sobre Fertirriego en la Floricultura Colombiana. FLÓREZ R., V. J., FERNÁNDEZ M., A. C., MIRANDA L., D., CHAVES C., B. GUZMÁN P., J. M. (eds.). Unibiblos. Bogotá, Colombia.
- VÉLEZ C., N. A.; FLÓREZ R., V. J.; FLÓREZ R., A. F. 2014. Comportamiento de variables químicas en un sistema de cultivo sin suelo para clavel en la Sabana de Bogotá. Revista Facultad Nacional de Agronomía Medellín 67(2): 7281-7290.
- ZEKKI, H.; GAUTHIER, L.; GOSSELIN, A. 1996. Growth, productivity, and mineral composition of hydroponically cultivated greenhouse tomatoes, with or without nutrient solution recycling. Journal of the American Society for Horticultural Science 121(6): 1082-1088. <http://journal.ashspublications.org/content/121/6/1082.full.pdf>